

der Trockenheit, welche während der adiabatischen Expansion stattfindet und kann daher unter Weglassung des Zeigers 2 allgemein geschrieben werden

$$\frac{qL}{T} = \frac{q_1 L_1}{T_1} + \log_e \frac{T_1}{T}. \quad (10)$$

Diese Gleichung ist mit Gleichung (10) in § 41 vollkommen identisch. Es sei hier ausdrücklich bemerkt, daß bei der Ableitung dieses Ausdruckes die spezifische Wärme des Wassers als konstant angenommen wurde; das Resultat ist daher, wenn auch nur in sehr geringem Maße, ungenau, speziell für hohe Temperaturen.

57. Entropie. Weit schwieriger als der Begriff der Energie ist eine andere wichtige Größe zu verstehen, welche eine hervorragende Rolle bei den Untersuchungen der mechanischen Wärmetheorie spielt. Diese Größe führt nach Clausius den Namen Entropie; Rankine nannte dieselbe „Thermodynamische Funktion“.

Die Entropie eines Körpers ist genau so wie Druck, Volumen und Temperatur eine bestimmte, von dem eben vorhandenen Zustande des Körpers abhängige, durch eine Zahl darstellbare physikalische Eigenschaft. Wenn eine Substanz Wärme aufnimmt oder abgibt, dann ändert dieselbe ihre Entropie; die Änderung der Entropie wird dargestellt durch den Ausdruck

$$\sum \frac{\delta Q}{T},$$

jedes Element δQ der aufgenommenen oder abgegebenen Wärme dividiert durch die absolute Temperatur, welche die Substanz zur Zeit der Wärmeaufnahme oder -abgabe hatte.

Zunächst gilt bezüglich des Nullpunktes für die Entropie dasselbe, wie für die Energie; hätte ein Körper die absolute Temperatur Null, dann wäre sowol seine Energie, als auch seine Entropie gleich Null. Da man aber diesen Zustand nicht herstellen kann, so kann man auch nicht den absoluten Wert der Entropie bestimmen; man kann jedoch einen bestimmten Normalzustand willkürlich wählen und von jenem Werte zu rechnen beginnen, der diesem Normalzustande entspricht. Beim Rechnen mit Entropie, geradeso wie beim Rechnen mit Wärme, ist es also angezeigt, einen beliebigen Ausgangspunkt zu wählen, und die Entropie von diesem Punkte als Nullpunkt zu berechnen. Bei der Berechnung der Entropie des Dampfes bei irgend einer Temperatur kann man den Zustand des Wassers bei 0° C als passende Zahl annehmen und $\sum \frac{\delta Q}{T}$ von diesem Punkte aus rechnen; man nennt den so gerechneten Wert „die Entropie des Dampfes“.

Die Entropie sei für die Folge bezeichnet durch Φ ; gibt man derselben numerische Werte, dann rechnet man in Massen = Einheiten der Substanz.

Aus dieser Definition folgt, daß, wenn irgend eine Substanz einen adiabatischen Prozeß durchläuft, die Entropie ungeändert bleibt. In § 53 wurde ferner nachgewiesen, daß

$$\sum \frac{\delta Q}{T} = 0,$$

wenn die Arbeitssubstanz einen vollständigen umkehrbaren Kreisprozeß durchläuft und der volle Prozeß hierbei in Betracht kommt. Wenn daher der Kreisprozeß geschlossen ist, kehrt die Entropie der Substanz gerade so wie Druck, Temperatur, Volumen und innere Energie derselben zu jenem Wert zurück, welchen dieselbe zu Beginn des Kreisprozesses hatte.

Betrachtet man nun einen Kreisprozeß, Fig. 20, bestehend aus zwei isothermischen und zwei adiabatischen Operationen. Indem die Arbeitssubstanz auf der isothermischen Linie T_1 von a nach b gelangt, gewinnt sie die Entropie $\left(\frac{Q_1}{T_1}\right)$, wenn

Q_1 die während dieser Operation aufgenommene Wärme ist. Längs der adiabatischen Linie von b nach c erfährt die Entropie keine Veränderung. Auf der isothermischen Linie cd wird die Entropie um den Betrag $\left(\frac{Q_2}{T_2}\right)$ reduziert, wenn Q_2 die

während dieser Operation abgegebene Wärme ist, und von d nach a erfährt die Entropie abermals keine Änderung. Nun ist $\left(\frac{Q_1}{T_1}\right) = \left(\frac{Q_2}{T_2}\right)$; dies bedeutet, daß sich die Entropie um den gleichen Betrag ändert, ob man von einer adiabatischen Linie ad zu einer anderen adiabatischen Linie bc auf dem isothermischen Wege ab oder auf irgend einem anderen isothermischen Wege dc gelangt. Die Änderung der Entropie zwischen einer Adiabate und einer anderen wird ferner dieselbe sein, ob die Übergangskurve isothermisch ist oder nicht, denn man kann sich jede Kurve, welche eine Beziehung zwischen p und v ausdrückt, aus einer Reihenfolge ungemein kleiner isothermischer und adiabatischer Elemente gebildet denken; die Änderung der Entropie längs einer solchen Kurve setzt sich dann zusammen aus der Summe aller Einzeländerungen längs der isothermischen Elemente des Prozesses und ist daher für irgend eine einzelne isothermische Linie zwischen demselben Paare adiabatischer Linien äquivalent zu $\frac{Q}{T}$.

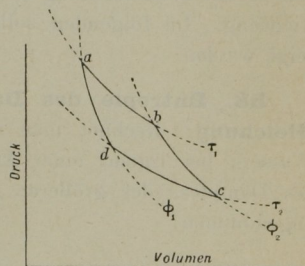


Fig. 20.

Man ersieht daraus, daß während eines adiabatischen Prozesses keine Änderung der Entropie stattfindet, daß jedoch eine vollkommen bestimmte Änderung derselben Platz greift, sobald eine gegebene Substanz von einer adiabatischen Linie auf eine andere, auf welchem Wege immer, übergeht. Ebenso wie isothermische Linien Linien gleicher Temperatur sind, so sind die adiabatischen Kurven Kurven von gleicher Entropie und ebenso, wie man isothermische Linien durch die Bezeichnung $T_1, T_2, \text{etc.}$, welche die spezielle Temperatur anzeigt, für welche jede einzelne Linie gezogen ist, unterscheiden kann, so kann man adiabatische Linien durch die Bezeichnung $\Phi_1, \Phi_2, \text{etc.}$ unterscheiden, wodurch der spezielle Wert der Entropie jeder einzelnen Kurve hervorgehoben wird. Von diesem Gesichtspunkte aus werden adiabatische Kurven oft „isentropische Linien“ genannt. Die Auffassung der Entropie als Charakteristik einer Substanz, welche sich während adiabatischer Expansion oder Kompression nicht ändert, ist von besonderer Bedeutung für die Lösung von Aufgaben wärmetechnischer Richtung. Im folgenden sollen einige Anwendungen dieses Begriffes gezeigt werden.

58. Entropie des Dampfes. Ableitung der adiabatischen Gleichung. Rechnet man nach früher die Entropie vom Zustande des Wassers bei irgend einer Anfangstemperatur T_0 , dann ist die Entropie des Dampfes (der größeren Allgemeinheit wegen sei derselbe als feucht angenommen)

$$\Phi = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dh}{T} + \frac{q_1 L_1}{T_1}.$$

Das erste Glied stellt die Entropie dar, welche während der Erhitzung des Wassers von T_0 auf T_1 , wenn T_1 die Temperatur der Verdampfung ist, erworben wird, während das zweite Glied die Entropie darstellt, welche während der Verdampfung, wobei q_1 die Trockenheit des Dampfes bezeichnet, erlangt wird. Nimmt man die spezifische Wärme des Wassers als Einheit an, dann kann man dT für dh setzen; integriert gibt

$$\Phi = \log_e T_1 - \log_e T_0 + \frac{q_1 L_1}{T_1}. \quad (11)$$

Bei adiabatischer Expansion ist

$$\Phi = \text{const.},$$

somit, wenn der Dampf adiabatisch bis zu irgend einer Temperatur T expandiert,

$$\log_e T - \log_e T_0 + \frac{qL}{T} = \log_e T_1 - \log_e T_0 + \frac{q_1 L_1}{T_1},$$

und daraus

$$\frac{qL}{T} = \frac{q_1 L_1}{T_1} + \log_e \frac{T_1}{T};$$